

translation of
abstract

Laid-Open Patent Spec. Hei9-232415

(54) [TITLE OF THE UTILITY MODEL]

Apparatus for Substrate Cooling and Chemical Vapor Reaction and Control
Method for Substrate Temperature Control

(57) [ABSTRACT]

[PROBLEMS TO BE SOLVED BY THE INVENTION]

To provide a substrate cooling apparatus capable of producing relatively uniform temperature distribution in the whole area of a substrate and controlling the substrate temperature.

[MEANS FOR SOLVING THE PROBLEMS]

The substrate cooling apparatus comprises a substrate contact board (52) which has projecting parts (78) provided in the peripheral part of the board, concave parts (74') that form cavities, a center part that has a plurality of concave parts (72) each of which ends at a contact face (72') and each contact face of which is approximately on the same plane with the surface (78') of said projecting parts provided in said peripheral part, and at least one gas inlet groove for feeding a gas into said cavities, and a cooling board (60) that is thermally connected with said substrate contact board and which has grooves (106) through which a cooling liquid is passed.

(51) Int.Cl. ⁸	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/68			H 0 1 L 21/68	R
21/205			21/205	

審査請求 有 請求項の数70 O L (全 22 頁)

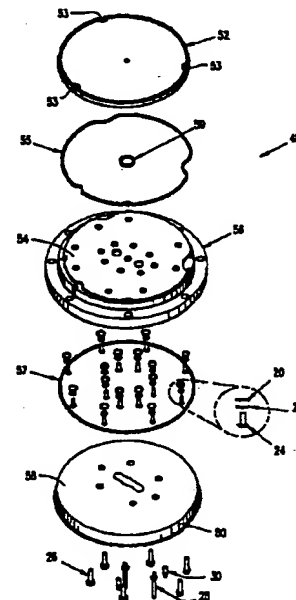
(21) 出願番号	特願平9-32300	(71) 出願人	591175099 ノベラス・システムズ・インコーポレイテッド NOVELLUS SYSTEMS IN CORPORATED アメリカ合衆国カリフォルニア州95134- 1510・サンノゼ・ピスタモンタナ 81
(22) 出願日	平成9年(1997)2月17日	(72) 発明者	トーマス・ダブリュ・マウントシアー アメリカ合衆国カリフォルニア州95110・ サンノゼ・#319・パークアベニュー 411
(31) 優先権主張番号	08/602,432	(72) 発明者	ジェイムズ・ウィング アメリカ合衆国カリフォルニア州94022・ ロスアルトス・ミルバートン 666
(32) 優先日	1996年2月16日	(74) 代理人	弁理士 大島 陽一 (外1名)
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

(54) 【発明の名称】 基板冷却装置及び化学蒸気反応装置並びに基板の温度制御制御方法

(57) 【要約】

【課題】 基板全体での比較的均一な温度分布を生み出し、基板の温度を調節することができる基板冷却装置を提供する。

【解決手段】 基板接触盤(52)であって、周辺部に設けられた突出した部分(78)と、キャビティを形成する凹部(74')と、各々が、接触面(72')において終息するとともに前記周縁部分に設けられた前記突出した部分の表面(78')と前記各々の接触面とが概ね同一平面上に設けられた複数の凸部(72)とを有する中央部分と、前記キャビティ内へガスを供給するための少なくとも1つのガス入り口溝とを有する前記基板接触盤(56)と、前記基板接触盤に熱的に接続されているとともに、冷却液を通すための溝(106)を有する冷却盤(60)とを有する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板から熱を除去するための基板冷却装置であって、

基板接触盤であって、

周辺部に設けられた突出した部分と、

キャビティを形成する凹部と、各々が、接触面において終息するとともに前記周縁部分に設けられた前記突出した部分の表面と前記各々の接触面とが概ね同一平面上に設けられた複数の凸部とを有する中央部分と、

前記キャビティ内へガスを供給するための少なくとも1つのガス入り口溝とを有する前記基板接触盤と、前記基板接触盤に熱的に接続されているとともに、冷却液を通すための溝を有する冷却盤とを有することを特徴とする基板冷却装置。

【請求項2】 少なくとも1つの前記基板接触盤と、前記冷却盤とに取り付けられた支持盤を更に有することを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項3】 前記支持盤が、前記基板接触盤と前記冷却盤との間に配置されていることを特徴とする請求項2に記載の装置。

【請求項4】 前記基板接触盤の背面と、前記支持盤の第1の面との間に設けられた熱伝導性ペーストの第1の層と、

前記支持盤の第2の面と、前記冷却盤との間に設けられた熱伝導性ペーストの第2の層とを更に有することを特徴とする請求項3に記載の装置。

【請求項5】 前記第1の熱伝導性ペーストの層を、前記基板冷却装置を取り囲む真空環境から保護するための第1のシールを更に有することを特徴とする請求項4に記載の装置。

【請求項6】 前記第1の熱伝導性ペーストの層を、前記少なくとも1つのガス入り口溝内の真空環境から保護する第2のシールを更に有することを特徴とする請求項5に記載の装置。

【請求項7】 前記支持盤を前記基板接触盤に取り付けるための複数のボルトを更に有することを特徴とする請求項3に記載の方法。

【請求項8】 前記ボルトの各々に対してスプリングワッシャが用いられており、前記支持盤と前記基板接触盤の各々の熱的な膨張特性の差を受容する柔軟性が提供されていることを特徴する請求項7に記載の装置。

【請求項9】 前記基板接触盤がセラミック材料から構成されていることを特徴とする請求項4に記載の装置。

【請求項10】 前記冷却盤が、前記基板接触盤と前記支持盤との間に配置されていることを特徴とする請求項2に記載の装置。

【請求項11】 前記基板接触盤が、前記冷却盤にハンダ付けによってもしくは錫付けによって取り付けられていることを特徴とする請求項10に記載の装置。

【請求項12】 前記凹部が、前記中央部分の面積の80%から98%を占めることを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項13】 前記周縁部の突出した部分が、環状のシールリングを有することを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項14】 前記少なくとも1つのガス入り口溝が、前記中央部分の中心にもしくは前記中心の付近に配置されたガス入り口ポートから前記キャビティ内に連通していることを特徴とする請求項13に記載の装置。

【請求項15】 前記環状のシールリングの内側エッジに隣接して設けられた環状のガス分配リングを更に有することを特徴とする請求項13に記載の装置。

【請求項16】 前記中央部分が、前記少なくとも1つのガス入り口ポートから前記環状のガス分配リングへ向けて延在する複数のガス分配溝を更に有することを特徴とする請求項15に記載の装置。

【請求項17】 前記ガス分配溝が、0.2mmから2.0mmの範囲の深さと、0.5mmから2.5mmの範囲の幅とを有することを特徴とする請求項16に記載の装置。

【請求項18】 前記ガス分配溝が、約0.7mmの深さと、約1.5mmの幅とを有することを特徴とする請求項17に記載の装置。

【請求項19】 前記複数のガス分配溝が、前記少なくとも1つのガス入り口ポートを囲む閉じた溝と、前記ガス入り口ポートから前記閉じた溝まで延在する第1の複数の溝と、前記閉じた溝から前記環状のガス分配リングまで延在する第2の複数の閉じた溝とを有し、前記第2の複数の溝の個数が、前記第1の複数の溝の個数よりも多いことを特徴とする請求項16に記載の装置。

【請求項20】 前記閉じた溝が六角形の形状を有し、

前記第1の複数の溝が6本の溝からなり、前記第2の複数の溝が8本の溝からなり、前記第1の複数の溝と前記第2の複数の溝の各々の溝が前記閉じた溝のなす六角形の形状の角の部分と交わることを特徴とする請求項19に記載の装置。

【請求項21】 前記ガス分配溝が、前記ガス入り口ポートから放射状に外向きに延在することを特徴とする請求項16に記載の装置。

【請求項22】 前記基板冷却装置が、少なくとも6個の前記ガス分配溝を有することを特徴とする請求項21に記載の装置。

【請求項23】 前記基板冷却装置が、少なくとも12個の前記ガス分配溝を有することを特徴とする請求項22に記載の装置。

【請求項24】 前記ガス分配溝が三角形の形状をなすように配置されていることを特徴とする請求項16に

記載の装置。

【請求項25】 前記ガス分配溝が、格子状の形状をなすように配置されていることを特徴とする請求項16に記載の装置。

【請求項26】 前記基板接触盤に対して基板を固定する手段を更に有することを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項27】 前記基板接触盤が、少なくとも1つの前記基板接触盤に前記基板を固定するための電極を更に有することを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項28】 前記基板接触盤が、一対の互いに噛合する形状の電極を有することを特徴とする請求項27に記載の装置。

【請求項29】 前記少なくとも1つの電極が15 μ mから45 μ mの厚さを有することを特徴とする請求項27に記載の装置。

【請求項30】 前記基板を前記基板接触盤に取り付けるための静電力を形成するための前記少なくとも1つの電極に接続された電圧源を更に有することを特徴とする請求項27に記載の装置。

【請求項31】 前記少なくとも1つの電極に接続されたRF電源を更に有することを特徴とする請求項27に記載の装置。

【請求項32】 RF電源と、前記基板接触盤と前記冷却盤の少なくとも一方に取り付けられた金属製の支持盤とを更に有し、前記RF電源が前記少なくとも1つの電極と前記金属製の支持盤とに接続されていることを特徴とする請求項27に記載の装置。

【請求項33】 前記キャビティはその深さが40 μ m以下であり、設定された値に対して $\pm 1.0\%$ の公差となるように製造されていることを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項34】 前記周縁部の突出した領域の前記表面と前記接触面とを平均したの平均面からの偏差が、0.1mm未満であることを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項35】 前記周縁部に設けられた突出した部分の前記表面と前記接触面とが、予め決められた粗さを有するように研磨されていることを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項36】 前記予め決められた粗さが、約3.0 μ m以下の平均粗さ(Ra)として定義されていることを特徴とする請求項35に記載の装置。

【請求項37】 R_{max} がRaの200%の未満であることを特徴とする請求項36に記載の装置。

【請求項38】 前記周縁部に設けられた突出部の前記表面の木目と前記接触面の木目がランダムなものであることを特徴とする請求項35に記載の装置。

【請求項39】 請求項1に記載された基板冷却装置

と、前記基板接触盤に支持された基板とを組み合わせた組合わせ基板冷却装置であって、

前記基板の表面が、前記突出した前記領域と、前記接触面とに接触しており、ガスが前記少なくとも1つのガス入り口溝を通して前記キャビティ内に供給されることを特徴とする組合わせ基板冷却装置。

【請求項40】 前記ガスが、水素、ヘリウム、窒素、及びアルゴンからなる集合から選択されたものであることを特徴とする請求項39に記載の組合わせ基板冷却装置。

【請求項41】 前記キャビティ内の前記ガスの圧力が約20トル以下であることを特徴とする請求項39に記載の組合わせ基板冷却装置。

【請求項42】 前記基板に、前記基板冷却装置の外部の電源から電力が供給され、前記基板の温度が前記ガスの圧力によって制御されることを特徴とする請求項39に記載の組合わせ基板冷却装置。

【請求項43】 前記基板から除去された前記熱の約20%未満の熱は前記突出部を通して除去されることを特徴とする請求項42に記載の組合わせ基板冷却装置。

【請求項44】 前記周縁部分に設けられた突出した部分と前記接触面との粗さが、前記基板冷却装置と接触する前記基板の表面の粗さ以上であることを特徴とする請求項39に記載の組合わせ基板冷却装置。

【請求項45】 前記少なくとも1つのガス入り口溝内のガスの圧力を制御するための圧力制御バルブと、前記少なくとも1つのガス入り口溝内の前記ガスの圧力を検出するための圧力センサと、

前記圧力制御バルブと前記圧力センサとに接続されたコントローラとを更に有し、

前記コントローラが前記圧力センサからの信号を受け取り、前記信号に応答して前記少なくとも1つのガス入り口溝内の前記圧力を予め決められた値に保持する信号を前記圧力制御バルブに送ることを特徴とする請求項39に記載の組合わせ基板冷却装置。

【請求項46】 前記少なくとも1つのガス入り口溝内のガスの圧力を制御するためのガス制御バルブと、前記基板の温度を検出するための温度センサと、前記圧力制御バルブと前記温度センサとに接続されたコントローラとを更に有し、

前記コントローラが前記温度センサからの信号を受け取り、前記信号に応答して前記基板の温度を予め決められた値に保持するための信号を前記圧力制御バルブに送ることを特徴とする請求項39に記載の組合わせ基板冷却装置。

【請求項47】 反応チャンバと、請求項1に記載された基板冷却装置とを有し、前記基板冷却装置が前記反応チャンバ内の基板を支持するように位置決めされていることを特徴とする化学蒸気装置。

【請求項48】 前記化学蒸気反応装置が、化学蒸着

装置からなることを特徴とする請求項4 7に記載の化学蒸気反応装置。

【請求項4 9】 プラズマ化学蒸着装置からなることを特徴とする請求項4 7に記載の化学蒸気反応装置。

【請求項5 0】 プラズマエッチング装置からなることを特徴とする請求項4 7に記載の化学蒸気反応装置。

【請求項5 1】 スパッタエッチング装置からなることを特徴とする請求項4 7に記載の化学蒸気反応装置。

【請求項5 2】 物理蒸着装置からなることを特徴とする請求項4 7に記載の化学蒸気反応装置。

【請求項5 3】 基板冷却装置であって、その周縁部分に沿って延在する突出した環状リングと、凹部と、各々が接触面において終息すると共に前記突出した環状リングの表面と前記接触面がほぼ同一平面上にある複数の円形部分と、ガス入り口ポートとを有する、前記突出した環状リングの内側に配置された中央部分とを有する上面を備えたセラミック盤と、前記セラミック盤にウェハを固定するための静電力を発生させるための前記セラミック盤内に埋め込まれた互いに噛合う一対の電極と、前記セラミック盤の裏側面に取り付けられた金属製の支持盤と、前記金属製の支持盤の裏側面に取り付けられていると共に冷却液を通すための溝をその内部に形成された冷却盤と、前記冷却盤と前記金属製の支持盤とを通過して前記ガス入り口ポートまで延在するガス入り口溝とを有することを基板冷却装置。

【請求項5 4】 熱伝導性ペーストからなる第1の層が、前記セラミック盤を前記金属製の支持盤に接続し、熱伝導性のペーストからなる第2の層が、前記金属製の支持盤を前記冷却盤に接続していることを特徴とする請求項5 3に記載の基板冷却装置。

【請求項5 5】 熱伝導性ペーストからなる前記第1の層を、前記ウェハ冷却装置を取り囲む真空の環境から保護するための第1のOリングと、熱伝導性ペーストからなる前記第1の層を前記ガス入り口溝内の真空の環境から保護する第2のOリングとを更に有することを特徴とする請求項5 4に記載の基板冷却装置。

【請求項5 6】 前記金属製の支持盤を前記セラミック盤に取り付けるための複数のボルトを更に有することを特徴とする請求項5 3に記載の基板冷却装置。

【請求項5 7】 前記ボルトの各々に対してスプリングワッシャが用いられており、前記金属製の支持盤と前記セラミック盤の各々の熱的な膨張特性の差を許容する柔軟性が提供されていることを特徴とする請求項5 6に記載の基板冷却装置。

【請求項5 8】 前記突出した環状リングの内側エッジ部分に隣接して設けられた環状のガス分配リングを更

に有することを特徴とする請求項5 3に記載の基板冷却装置。

【請求項5 9】 前記中央部分が、前記ガス入り口ポートから前記環状のガス分配リングまで延在する複数のガス分配溝を更に有することを特徴とする請求項5 8に記載の基板冷却装置。

【請求項6 0】 前記突出した環状リングの表面が、前記セラミック盤に支持されたウェハの表面に対して部分的なシールを形成するように設計されていることを特徴とする請求項5 3に記載の装基板冷却装置。

【請求項6 1】 基板冷却装置であって、その周縁部分に沿って延在する突出した環状リングと、凹部と、各々が接触面において終息すると共に前記突出した環状リングの表面と前記接触面がほぼ同一平面上にある複数の円形部分と、ガス入り口ポートとを有する、前記突出した環状リングの内側に配置された中央部分とを有する上面を備えたセラミック盤と、前記セラミック盤にウェハを固定するための静電力を発生させるための前記セラミック盤内に埋め込まれた互いに噛合う一対の電極と、

前記セラミック盤の裏面に取り付けられていると共に冷却液を通すための溝をその内部に形成された冷却盤と、前記冷却盤の裏面に取り付けられた金属製の支持盤と、前記冷却盤と前記金属製の支持盤とを通過して前記ガス入り口ポートまで延在するガス入り口溝とを有することを基板冷却装置。

【請求項6 2】 前記冷却盤が、前記セラミック盤の前記裏面にハンダ付けもしくは鍍づけによって取り付けられていることを特徴とする請求項6 1に記載の基板冷却装置。

【請求項6 3】 前記冷却盤を前記セラミック盤の前記裏面に取り付けるために用いられている材料が、前記冷却盤と前記セラミック盤の各々の熱的な膨張特性の差を許容するために十分な柔軟性を有するものであることを特徴とする請求項6 2に記載の基板冷却装置。

【請求項6 4】 前記冷却盤が、インジウムハンダによって前記セラミック盤の前記裏面に取り付けられていることを特徴とする請求項6 2に記載の装置。

【請求項6 5】 前記冷却盤が、前記金属製の支持盤の中に形成されたキャビティ内に固定されていることを特徴とする請求項6 1に冷却装置。

【請求項6 6】 前記冷却盤がボルトを用いて前記キャビティ内に固定されていることを特徴とする請求項6 5に記載の装置。

【請求項6 7】 前記キャビティを前記冷却装置を取り囲む真空の環境から密閉するための第1のOリングと、前記キャビティを前記かつ入り口溝内の真空の環境から密閉するための第2のOリングとを更に有することを特徴とする請求項6 6に記載の装置。

【請求項68】 外部の電源からの熱エネルギーを受容する基板の温度を制御する基板の温度制御方法であって、

その周縁部分に形成された環状の突出リングと、前記環状の突出リングの内側に形成されたキャビティ等を備えた基板接触盤を有する基板冷却装置を提供する過程と、前記環状の突出リングの表面に前記基板を取り付ける過程と、

前記キャビティにガスを供給する過程と、

前記基板と前記基板接触盤との間の温度差を予め設定するように前記キャビティ内のガスの圧力を形成することによって、前記基板の前記温度を制御する過程とを有することを特徴とする基板の温度制御方法。

【請求項69】 前記基板接触盤を冷却する過程を更に有することを特徴とする請求項68に記載の基板の温度制御方法。

【請求項70】 前記ガスの漏れが、前記基板と前記環状の突出したリングの前記表面との間を通ることを特徴とする請求項68に記載の基板の温度制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、処理過程中においてウェハなどの基板から熱を除去する装置に関する。

【0002】

【従来の技術】プラズマ処理過程を最適化するために、高出力・低圧のRF及び／またはマイクロ波プラズマが益々用いられるようになってきた。このRF電力の多くの部分は基板、通常はシリコンウェハに伝達され、基板を加熱する。低圧下においては、通常は5ミリトル付近の圧力下においては、ウェハを冷却するための主な熱伝達機構は、熱放射であり、これは非常に非効率なものである。そのため、ウェハは非常に高温となり、しばしば450℃以上の温度となることがある。しかし、多くの処理過程では、ウェハを低い温度、例えば400℃以下に保つことが望ましい。

【0003】ラモン・ジュニア(Lanont, Jr.)による米国特許4,743,570号明細書には、排気された環境内におけるウェハの熱的な取り扱い方法が開示されている。ウェハは所定の位置に保持され、ウェハと加熱シンクとの間の空間に約100μmから1000μmの圧力のガスが導入される。この方法は低圧力用に適しているが、例えば150Wもしくはそれ以下の高い入力電力によってウェハが過度に加熱されることになる。更に、熱を伝達するために用いられるガスと真空チャンバとの圧力差によって、好ましくないウェハの機械的な変形が引き起こされる。

【0004】最近では、静電チャック(ESCと呼ぶ)が、プラズマ処理過程における温度制御装置としてより多くの注目を浴びている。ESCでは、ウェハは図1に例示されているように静電力によって所定の位置に保持

される。ウェハ6は絶縁層4によって電極2と分離されている。電圧(図1では正の電圧)が、電源14によって電極2に印加されている。電極に印加された電圧によって、絶縁層4の接触面10に電荷(図では「-」として表されている)が発生し、この電荷によって、ウェハ6の接触面12には等量異符号の電荷(「+」によって表されている)が発生する。接触面10と12に発生した電荷によって、この接触面10と12との間に静電力が生み出される。この静電力はウェハ6を絶縁層4に対して保持する。次に、ウェハ6に伝達された熱は、通常冷却水によって冷却された絶縁層4に接触による熱伝導によって伝達される。

【0005】図1に例示されたESCは、ウェハ6との間で電気的な接続が形成される単極型のESCである。ブリギリア(Briglia)による米国特許第4,184,188号明細書に開示されているような双極型のESCでは、互いに向かい合って噛合うように配置された異なる極性を有する電極が、ウェハ6を保持するための静電力を生み出すために用いられており、ウェハ6との電気的な接触の必要性が除去されている。

【0006】このESCは、ESCの表面とウェハの裏側面との間の接触が比較的均一であるので、ウェハを機械的に保持する従来のウェハホルダに比べて優れている。この均一な接触によって、ウェハの温度が入力電力の関数となっているウェハ全体での比較的均一な温度分布を生み出す。しかし、ウェハの処理過程中において製造業者の望む様々な処理条件に応じてウェハの温度を調節することができる能力が望まれている。

【0007】

【発明の解決しようとする課題】本発明の目的は、基板全体での比較的均一な温度分布を生み出し、基板の温度を調節することができる基板冷却装置を提供することである。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明に基づけば、ウェハ冷却装置(WCD)が、処理過程中に、基板、通常はウェハから熱を除去するために用いられる。このして、熱伝達係数が、従って基板の温度が制御される。

【0009】WCDは、ウェハが取り付けられる熱伝達面を有する。ウェハは、当業者にはよく知られている方法によって静電力を用いてWCDに取り付けられている。代わりに、ウェハは機械的に、例えばクランプリングを用いて取り付けられてもよい。

【0010】水素、ヘリウム、アルゴン、もしくは窒素などのガスが、WCDの熱伝達面とウェハとの間に形成されたキャビティ内に導入される。

【0011】WCDは、更に、金属製の冷却盤に接続された金属製の支持盤に接続されたセラミック製のセラミック盤を含む。ウェハはこのセラミック盤の露出された表面に取り付けられており、この露出された面はWCD

の熱伝達面である。金属製の冷却盤は冷却水と接触することによって冷却されている。セラミック盤と金属製の支持盤との間の接触する部分の熱伝導率は、熱伝導性ペーストを用いて強化されている。同様に、金属製の支持盤と金属製の冷却盤の接触する部分の熱伝導率は、熱伝導性ペーストを用いて強化されている。他の実施例では、金属製の冷却盤は、セラミック板にろうづけされもしくは溶接されており、セラミック盤と冷却盤の組み立て体は、金属製の支持盤内に形成されたキャビティ内にボルトによって取り付けられている。WCDの熱伝達面とウェハとの間の接触部分の面積を減少させるために、WCD熱伝達面の一部に凹部が設けられている。WCDのその他の熱伝達面は、粗面化されている。これにより、ウェハとWCDの直接の接触による熱伝導が低減される。即ち、熱伝達機構の主要な部分は、ウェハとWCDとの間のガスによって行われるものであり、従ってガスの圧力が、熱伝達係数を決定し、基板の温度を決定する。ガス分配溝がWCDの熱伝達面に設けられており、ガスの漏洩の原因となるウェハとWCDとの間でのガスの圧力の変化を減少させている。熱伝達係数、及びウェハの温度は、主にガスの圧力に応じて変化するので、ガスの圧力を均一にすることによりウェハでの温度のばらつきが低減される。

【0012】ある実施例では、ガス分配溝は三角形のパターンに配列されている。他の実施例では、ガス分配溝は斜交平行線のパターンに配列されている。更に他の実施例ではガス分配溝はWCDの熱伝達面の中心から外側に向けて放射状に延在するように設けられている。更に他の実施例では、WCDの中心に設けられた亀甲型のパターンから外向きに放射状に延在するように設けられている。

【0013】これら全ての実施例では、1つもしくは複数の電極がセラミック盤内に設けられている。DC（直流）電圧が電極に印加され、ウェハをWCDに固定する静電力を生み出す。更に、RF電源が電極に加えられ、更に金属製の支持盤に加えられる。例えば、WCDに取り付けられたウェハに向けてイオンを加速するためにRF電力が供給され、ウェハがスパッタリング法によってエッチングされることが望ましい場合もある。

【0014】

【発明の実施の形態】本出願は、1992年11月4日に提出された米国特許出願第07/971,363号

(1994年9月13日に付与された米国特許第5,346,578号)と、本出願の優先権の基礎とされた米国特許出願と同時に提出された米国特許出願第08/602,641号に関連する出願である。

【0015】図2には、本発明に基づくウェハ冷却装置（以下WCDと呼ぶ）48の分解斜視図が表されている。WCD48は、セラミック盤52と、熱伝導性ペーストの第1の層54と、（アルミニウム製の）金属製支

持盤56と、熱伝導性ペーストの第2の層58と、真鍮製の金属製冷却盤60とを含む。熱伝導性の第1の層54は、セラミック盤52と金属製支持盤56との間の熱伝導性を高める。同様に、熱伝導性ペーストの第2の層58は、金属製支持盤56と金属製冷却盤60との間の熱伝導性を高める。

【0016】Oリング55及び59は、セラミック盤52と金属製支持盤56との間のシールを形成し、熱伝導性ペーストの第1の層54を真空の処理環境から隔離する。Oリング57は、金属製支持盤56とセラミック製のインシュレータ49（その断面図が図4に例示されている）との間の真空シールを形成するために用いられている。第1及び第2の層54及び58は、各々、熱伝導性ペーストからなり、「Omega Engineering, Inc.」が製造した製品名「OMEGATHERM 201」が用いられているが、任意の同様な熱伝導性ペーストが用いられてもよい。

【0017】層52、54、56、58及び60のおよその幅は、各々、6.70mm、0.13mm、6.35mm、0.13mm、及び3.18mmである。

【0018】セラミック盤52は、約90%の酸化アルミニウム、若しくは窒化アルミニウムからなり、テープ casting 法（Tape casting method）を用いて「Toto」、「NGK」、「Fujitsu」、及び「Kyocera」から製造販売されている。電極は、セラミック盤52内にスクリーンプリンティング法を用いて形成されている。DC電圧は、2つの接続ピン28を用いて電極に印加されており、ウェハをWCDに固定する静電力が形成される。セラミック盤52はまた、3つの凹部52（リフトピンを収容するための）を有する。セラミック盤52の製造方法及びセラミック盤52内に形成された電極の製造方法は、ウェハリフトピンの利用方法と同様に当業者にはよく知られたものである。

【0019】上述された種類のパターン化された電極を形成する方法は、ブリグリア（Briglia）による米国特許第4,184,188号明細書に開示されている。

【0020】所望に応じて、RF電力がセラミック盤52内の電極と金属製支持盤56とに供給される。例えば、WCDに取り付けられたウェハに向けてイオンを加速し、ウェハをスパッタによってエッチングする場合、RF電力が供給されることが望ましい。RF電力は、接続ピン28を用いてセラミック盤52内の電極に供給される。図示されているように、2つの接続ピン30が、金属製指示盤56にRF電力を供給するために用いられている。

【0021】セラミック盤52は、金属製支持盤56を貫通する6本のボルト24によって金属製支持盤56に取り付けられており、この6本のボルト24は、セラミ

ック盤52の底面にろう付けされた金属製のねじ切りされたインサート（図示されていない）に螺合されている。各ボルト24にはワッシャ20とスプリングワッシャ22とが用いられている。スプリングワッシャ22は、任意の伸張及び収縮を補うためのばねとして働いている。金属製冷却盤60は、金属製冷却盤60を貫通する6本のボルト26を用いて、金属製支持盤56内に形成された空間内でボルトによって取り付けられており、これら6本のボルト26は金属製支持盤56に螺合されている。

【0022】金属製冷却盤60の斜視図が図3に表されている。図示されているように金属製冷却盤60は入口102と出口104とを備えた冷却水用溝106を有する。使用中に、冷却水が入口102から流入し、冷却水用溝106を通過して出口104から流出する。

【0023】図4は、WCD48が取り付けられたユニット100の側断面図である。図示されているように、冷却水は第1の冷却水管102'を通過して入口102へ供給され、第2の冷却水管104'によって出口104から排出されるが、これは当業者にはよく知られた方法において行われる。ガス入口管110もまた図示されている。セラミック盤52と金属製支持盤56が、この中心に近い部分にガス入口管110を貫通させるための開口部を有する。セラミック盤52、リング55、金属製支持盤56、リング57、金属製冷却盤60、及び接続ピン30は図2に例示されている。

【0024】図5は、WCD48の一部分の側断面図である。ウェハ62が、セラミック盤52に取り付けられ、ウェハとWCDとの境界面50も形成されている。例えば、ウェハ62はシリコン、ガリウム砒素若しくはセラミックから形成されている。ウェハは、当業者によく知られた方法によって静電力を用いてWCDに取り付けられている。代わりに、ウェハは例えばクランプリングを用いて機械的に取り付けられてもよい。図示されているように、WCD48の接触面82の一部は窪んだ形状を有する。従って、ウェハ62の接触面80は、接触面82の突出した表面のみでWCD48と接触する。従って、ウェハとWCDとの間の空隙68が、ウェハとWCDの境界面50に形成されている。空隙68はガスで、例えばヘリウム、水素、アルゴン若しくは窒素ガスなどで満たされる。

【0025】図6は、ウェハとWCDとの境界面50の突出した表面の1つの拡大断面図（図5の64）を表している。図6に表されているように、ウェハとWCDとの境界面50において、ウェハ62の接触面80とセラ

ミック盤52の接触面82とは完全には平坦化されていないので、ウェハ62とセラミック盤52との間の微小な点において接触する（強調されて描かれている）。

【0026】WCD48は、ウェハ62の処理が行われる真空チャンバ内に取り付けられている。ウェハ62の処理過程の間、入力電力によってウェハ62が加熱される。入力電力は、例えばウェハのスパッタリングにより、若しくはプラズマ化学蒸着法によってウェハに供給される。この入力熱量は、図5において Q_{in} として表されている。入力熱量 Q_{in} は、ウェハ62から熱伝達経路に沿ってウェハとWCDとの間の境界面50を通り、セラミック盤52を通り、第1の熱的導電性ペースト層54と、金属製支持盤56と、第2の熱的導電性ペースト層58とを通り、最後に金属製冷却盤60を通る。熱（ Q_{out} として図示されている）は、第3図を参照しながら上述されたように、金属製冷却盤60に接触してこの金属製冷却盤を冷却する冷却水によって金属製冷却盤60から除去される。

【0027】図5には、ウェハとWCDとの境界面50を通る熱伝達の2つの主要な経路が表されている。第1の経路は、ガス熱伝導と以下の本明細書中で呼ばれる空隙68のガスを通過する熱伝導によるものである。第2の経路は、以下の本明細書中で接触熱伝導と呼ばれる、ウェハとWCDの境界面50における接触面80及び82の間の微小な接触点を介して直接行われる熱伝導によるものである。

【0028】これら2つの熱伝達の経路は以下に別個に説明される。第1のガス熱伝導は、接触面80と82との間に全く接触熱伝導がない、即ち直接的な接触部分がない場合を仮定して説明される。図7は、接触面80と82との間に直接的な接触部分がない仮想的なウェハとWCDとの組立体を表している。ウェハとWCDの境界面50に直接的な接触がないので、接触熱伝導は存在しない。即ち、ウェハとWCDの境界面50（図7）を通過する全ての熱は、ガス熱伝導によって空隙68を介して行われる。

【0029】図7に例示されたウェハとWCD組立体の全体の熱伝達係数 h_0 は、まず始めに熱伝達経路内の各層での熱伝達係数を算出することによって算出される。算出されかつ測定された熱伝達係数が、表1に表されており、この表1において、支持盤56はアルミニウム製であり、冷却盤60は真鍮製であり、空隙68は圧力10トルのヘリウムガスが満たされている。

【0030】

【表1】

ステップ	熱伝達媒体	ステップの熱伝達係数 [W/M ² -K]
1	ウェハ-WCD境界面50 (10トルのヘリウム)	$h_1 = 275$
2	セラミック盤52 (6.7mm)	$h_2 = 2500$
3	熱伝導性ペースト54 (0.13mm)	$h_3 = 18110$
4	支持盤56 (6.35mmのアルミニウム)	$h_4 = 36220$
5	熱伝導性ペースト58	$h_5 = 18110$
6	冷却盤 (3.18mmの真鍮)	$h_6 = 39370$
	全体	$h_0 = 238$

【0031】任意の層(i)の熱伝達係数は以下の式によって定義される。

$$【0032】Q_i = h_i \times A_i \times \Delta T_i \quad (1)$$

ここで Q_i は伝達された熱であり、 h_i は熱伝達係数であり、 A_i は伝達された熱の通過した面積であり、 ΔT_i

$$h_0 = ((1/h_1) + (1/h_2) + (1/h_3) + (1/h_4) + (1/h_5) + (1/h_6))^{-1} \quad (2)$$

熱の伝達された面積 A_i は、熱伝達経路に沿って各ステップ(i)で概ね等しい。更に、定常状態、即ち Q_{in} の Q_{out} と等しい状態では、伝達される熱(Q_i)は熱伝達経路に沿った各ステップにおいて等しい。即ち、 $h_i \times \Delta T_i$ は熱伝達経路に沿った各ステップ(i)において等しい。従って、熱伝達係数の低い層では温度の降下は大きく、熱伝達係数の大きい層では温度の降下は小さい。

【0035】ウェハ62から金属製冷却盤60までの熱伝達経路に沿った温度変化が、2000ワットの入力熱量 Q_{in} に対して図8に表されている。図8に表されているように、 T_1 はウェハ62の接触面80の温度であり、 T_2 はセラミック盤52の接触面82の温度であり、 T_3 はセラミック盤52の底面の温度であり、 T_4 はアルミニウム製支持盤56の上面の温度であり、 T_5 はアルミニウム製支持盤56の底面の温度であり、 T_6 は真鍮製の冷却盤60の上面の温度であり、 T_7 は真鍮製の冷却盤60の底面の温度である。

【0036】図8は、空隙68での温度が約285℃から55℃に降下することを表しており、従って温度差は約230℃であることを表している。全体の温度降下($T_7 - T_1$)は約260℃となっている。従って、約88%の温度降下が空隙68において生じている。

【0037】表1に表されているように、熱伝達経路に沿った最も低い熱伝達係数 h はウェハとWCDとのインタフェース50に於ける熱伝達係数257W/M²-K

* i 熱が伝達された部分の温度差である。

【0033】全体の熱伝達係数 h_0 (全ての層に亘る)は、以下の式のように定義される。

【0034】

である。このかなり低い熱伝達係数は、図8の T_1 と T_2 との間の温度降下によって表されているように、接触面80と82との間のウェハとWCDの境界面50のかなり大きい温度降下に関連するものである。しかし、この温度降下はウェハとWCDの境界線50の温度伝達係数を調節することによって制御することができ、従ってウェハの温度が制御することができる。例えば、熱伝達係数が増加した場合、そして温度降下はウェハの温度の低下に応じて減少する。逆に、熱伝達係数が減少した場合、温度降下はウェハの温度の上昇に応じて増加する。

【0038】ウェハとWCDの境界面50でのガスの熱伝達係数の挙動は、3つの動作領域に分類される。この3つの動作領域は、(1)連続領域、(2)自由分子行程領域、及び(3)遷移領域である。連続領域では、熱伝達係数は空隙60の幅とガスの熱伝導率の関数であり、しかし空隙68内のウェハ32の裏側面でのガスの圧力(以下裏側ガス圧力と呼ぶ)とは無関係である。自由分子行程領域では、熱伝達係数は裏側ガス圧力と、ガスの分子量との関数であるが、空隙68の幅とは無関係である。遷移領域では連続領域と自由分子行程領域との間の滑らかな補間法によって特徴づけられている。

【0039】ガスの組成が変化しない場合、例えばヘリウム若しくは水素ガスのみが用いられている場合、熱伝導率及びガスの分子量は一定である。この場合、熱伝達係数の挙動は以下のように要約される。連続領域では、空隙68の幅が熱伝達係数を制御し、自由分子行程領域

では裏側ガス圧力が熱伝達係数を制御し、遷移領域では空隙68の幅と裏側ガス圧力との両方が熱伝達係数を制御する。

【0040】図9は、空隙68の幅が5、10、20、50、及び100 μ mでの、水素ガスの裏側ガス圧力に対する熱伝達係数の変化を表している。自由分子行程領域では、熱伝達係数は裏側ガス圧力のみ関数であり、ガス圧力が0から約13ミリバール(0から10トルの間)で自由分子行程領域としてあらわれている。連続領域では、熱伝達係数は空隙68の幅のみ関数であるが、裏側ガス圧力が約100ミリバール(78トル)以上でこの連続領域としてあらわれている。これらの2つの領域の間で、即ちガス圧力が約13から100ミリバール(10から78トル)の範囲で、遷移領域があらわれている。

【0041】要約すれば、図9に表されているように、熱伝達係数は、0から78トルの範囲では空隙の間隔に無関係に裏側ガス圧力を調節することによって制御される。実際には、ウエハの温度の測定によって、ガス熱伝達係数が、約10から20トルの範囲内で裏側ガス圧力を調節することによって制御されることが明らかにされた。熱伝達係数を制御することにより、ウエハ68からセラミック盤52までの温度降下が制御される。ウエハ68からセラミック盤52までの温度降下は、ウエハ62の温度を制御する。即ち、約0から20トルの範囲内の裏側ガス圧力に対して、ウエハ62の温度は単に裏側ガス圧力を調節することによって十分に制御される。

【0042】図23は、裏側ガス圧力を制御するためのある手段を表したブロック図である。図4に例示されたガス入口管110と同様のガス入口管110は、WCDに関連するガス流量のガス入口管110内で検知されるあらゆる圧力降下を防止するための充分な内径を有する。即ち、ガス入口管110のガス圧力は、ガス入口ポートでの裏側ガス圧力とほぼ等しい。バルブ140がガス入口管110に接続されている。バルブ140は例えばウエハを交換する間、WCDへのガスの流入を遮断する。

【0043】マノメータ124がガス入口管110に機械的に接続されており、ガス入口管110の圧力を測定する。マノメータ142は測定した圧力を表す信号を圧力コントローラ128に出力する。圧力コントローラ128は、圧力制御バルブ120に電気的に接続されており、マノメータ124によって測定された圧力に応じて圧力制御バルブ120を調節する。圧力制御バルブ120は、ヘリウムなどのガス供給源に接続されたガス供給ライン122に機械的に接続されている。

【0044】コントローラ128は、例えば10トルの所望の圧力値(設定圧力)に設定されている。使用中に、マノメータ124によって測定されたガス入口管110内の圧力が設定圧力以下に、例えば10トル以下

に、下がった場合、コントローラ128は圧力制御バルブ120にヘリウムの流量を増加するよう命令を送る。これにより、ガス入口管110の圧力が設定圧力に達するまで増加する。逆に、マノメータ124によって測定されたガス入口管110内の圧力が、設定圧力以上に上昇した場合、コントローラ128は圧力制御バルブ120にヘリウムの流量を減少させる命令を送る。これにより、ガス入口管110の圧力が設定圧力に達するまで減少する。

10 【0045】マノメータ124とコントローラ128とに電気的に接続された電源126は、マノメータ124、コントローラ128、及び圧力制御バルブ120を動作させるために必要な電圧を供給する。

【0046】圧力制御バルブ120には、「Unit Instruments」が製造したモデル#C11-55719が用いられているが、他の同様な制御バルブが用いられても良い。コントローラ128には、「Unit Instruments」が製造したモデル#URS-20Pが用いられているが、他の同様なコントローラが用いられても良い。マノメータ124には、「Tyman General」が製造したモデル#CMLA-21506が用いられているが、他の同様なマノメータが用いられても良い。

30 【0047】ニードルバルブなどからなるバルブ134は、一定量のガスがポンプ136に流れ込むようにするものである。これにより、圧力制御バルブ120に対する定常状態の条件が確定される。バルブ13は圧力制御バルブ120を流れるガスが圧力制御バルブ120に対する最適なガス流量と等しいかもしくはこの最適なガス流量に近い値となるように設定されており、即ちガス流量制御における公差を改善し、裏側圧力の制御の公差を向上させる。

【0048】ある特定のウエハの温度を達成するために、どの圧力バルブがコントローラ128によって設定されるかを求めるに、ルックアップテーブルが用いられる。任意の与えられたプロセスに対して、ルックアップテーブルが設定圧力に関連する測定されたウエハの温度の相関関係を表している。ルックアップテーブルを作成するためには、設定圧力が第1の値に設定され、ウエハの温度が測定される。次に設定圧力は第2の値に設定され、ウエハの温度は再び測定される。この反復過程が続けられ、一つのルックアップテーブルが完成する。

40 【0049】代わりに、ウエハの温度が直接測定されて、この測定された温度がガス圧力を制御するために用いられる。ウエハの温度は赤外線技術を用いて測定され、または当業者によく知られた埋め込まれたもしくは接触型の熱電対を用いて測定される。ウエハの温度はセンサ138(図23)によって検出される。温度センサ138はウエハの温度を表す信号をコントローラ128に送り、コントローラ128は圧力制御バルブ120へ

裏側ガス圧力を調節しかつ所望のウェハ温度を保持するための命令を送る。例えば、ウェハの温度が所望のウェハ温度よりも高い場合、コントローラ128は圧力制御バルブ120に対してガス供給ラインにより多くのガスを供給する命令を与えることによって裏側ガス圧力を増加させる。これによってウェハの温度は所望の値まで減少される。逆に、ウェハの温度が所望のウェハ温度よりも低い場合、コントローラ128は圧力制御バルブ120へガス供給ラインへより少ない量のガスを供給する命令を与えることによって裏側ガス圧力を減少させる。これによってウェハの温度が所望の値まで上昇する。

【0050】上述されていているように、図7に例示された仮想的な構成では、ウェハとWCDの境界面50には接触熱伝導が存在しないことが仮定されている。しかし、ある条件のもとでは、接触熱伝導が実質的に存在する。図5及び図6を再び参照すると、接触熱伝導による伝達された熱の量は、接触面80と82との間の直接的な接触の面積によって決まる。接触する面積が大きければ、接触熱伝導によって伝達される熱量も増加する。直接的な接触の面積は、接触面80と82との間に加えられた圧力と、接触面80と82の粗さ、平坦さ、及び硬さとの関数となっている。接触面80の特性はウェハごとに異なり、接触面80の特性は時間とともに変化するので、接触熱コンダクタンスを正確に制御することは困難である。

【0051】接触面80と82との間の直接的な接触の面積を減少させるために2つの技術が用いられている。第1の技術は、接触する部分の面積の大部分を除去するものである。図10aは、本発明に基づく好適な実施例のセラミック盤52の接触面82の上面図を表している。図11aは、図10aの部分76の拡大上面図である。図11bは、図11aの線A-A'に沿った領域76の断面図である。図10aに例示されているように、接触面82は、円形のパターンで描かれている。

【0052】5個の円形部分72の上面図と側断面図が、各々、図11a及び11bに表されている。図11bから分かるように、各円形部分72は接触面82の突出した表面72'を表しており、各円形部分の直径Dは通常約1.5mmから2.5mmの範囲内にある。一方、セラミック盤52に取り付けられたウェハ（図示されていない）は、突出した円形部分72の表面72'に沿ってのみセラミック盤52と接触する。即ち、接触熱伝導に寄与する接触面82の表面積の多くの部分が除去されている。接触熱伝導に寄与する接触面82の表面の約80%から98%が除去されることが望ましい。図12aに例示された実施例では、接触面82の全表面積の約80%の部分が、全表面積の約10%の接触熱伝導のために残された部分に対して降下した位置に設けられている。図10a及び図11aに例示されて上面図では円形部分72は円形の形状を有しているが、円形部分72

は任意のその他の形状、例えば三角形もしくは四角形の形状を有するものであってもよい。

【0053】接触面82と80との間の直接的な接触の量を減少させる第2の方法は、セラミック盤52の接触面82を粗面化することである。接触面82を粗面化することにより、接触面80と82との間の微小な点による点接触の数が減少される。これにより、接触面80と82との間の直接的な接触の数が減少し、従って接触熱伝導が減少する。

【0054】図12は、種々のWCDにおける表面の粗さ（接触面80の粗さ）に対する接触熱伝導のための熱伝達係数の変化を表している。曲線A及びBと、曲線C及びDのWCDは、各々、 $0.05\mu\text{mRa}$ と、 $0.35\mu\text{mRa}$ の粗さを有する接触面（82）であり、ここで μmRa は、接触面に概ね平行な仮想平坦面からの μm を単位とする平均偏差を意味する。更に、曲線DとBのWCDの接触面（82）は、図10aに例示された接触面82と等しく、かつ接触面82の全表面積の90%が降下して位置に設けられている。

【0055】図12の符号Aによって表された曲線によって示されているように、接触熱伝導は、接触面80及び82が $0.05\mu\text{mRa}$ 以下に研磨されている場合、約 $2000\text{W}/\text{M}^2\text{-K}$ の熱伝達係数に対して極めて有効となることが分かる。一方、表1に表されているように、空隙68内の圧力10トルのヘリウムガスに対する熱伝達係数は、約 $275\text{W}/\text{M}^2\text{-K}$ の最大値を有する。接触熱コンダクタンスと、ガス熱コンダクタンスとは並列コンダクタンスとして働き、合計のコンダクタンスは、接触熱コンダクタンスとガス熱コンダクタンスとを加え合わせてもとめられるので、合計のコンダクタンスは接触熱コンダクタンスによって支配されている。即ち、ウェハの温度は入力電力によって主に決定され、裏側ガス圧力とは実質的に無関係となる。

【0056】図12の曲線Dに表されているように、接触熱伝導の熱伝達係数は、接触に寄与する表面の面積の多くの部分（90%）を除去し、かつ接触に寄与する残りの表面積を粗面化することによってかなり低減される。このような状況では、約 $20\sim 50\text{W}/\text{M}^2\text{-K}$ までの範囲の接触熱伝導の熱伝達係数は、ウェハ表面の粗さに応じて変化する。接触熱伝導の熱伝達係数が約 $50\text{W}/\text{M}^2\text{-K}$ 以下の場合、接触熱伝導はそれほど重要ではなくなり、ウェハ内で発生した熱量はガス層を通して除去される。このような仮想的な状況に於ては、ウェハの温度は裏側ガス圧力を調節することによって制御される。

【0057】図12の曲線Bでは、ウェハの表面の粗さに応じて約 $60\sim 1000\text{W}/\text{M}^2\text{-K}$ の範囲で変化する熱伝達係数が、接触熱伝導に寄与する表面の約90%が除去された場合にも得られている。曲線Cでは、ウェハの表面の粗さに応じて約 $50\sim 275\text{W}/\text{M}^2\text{-K}$ の

範囲の熱伝達係数が、粗面化された接触面 82 によっても得られている。曲線 B 及び曲線 C は、接触に寄与する表面積の大部分が除去された場合と、残りの接触面が粗面化された場合の何れの場合に於ても顕著な接触熱伝導が起きることを表している。同業者には容易に理解できることであるが、後退した表面 82 の割合と、残りの接触面の表面の粗さとは、期待されるウエハの平坦さ、ウエハの寸法、及び期待される熱入力等の要因に基づく設計事項である。

【0058】通常、WCD の接触面は、ウエハの表面の粗さよりも大きくかつ 3、 $0\mu\text{mRa}$ 以下の粗さを有するように粗面化されることが望ましい。更に、 R_{max} は R_a の 200% 以下とされるべきであり、ここで R_{max} は、WCD の接触面と概ね平行な下層平坦面からの最大の偏差を表している。例えば、粗さが 3、 $0\mu\text{mRa}$ の場合、 R_{max} は 6、 $0\mu\text{m}$ 以下とされるべきである。また、WCD の接触面は、微小な接点 (図 6 を参照のこと) がランダムに配置されるように、例えば接触面をビードブラスト (bead blasting) によって処理することにより、特定のパターンを有することのないように粗面化されなければならない。

【0059】接触に寄与する表面の大部分を除去した後、図 10a に示された円形パターンによって、ウエハと、実際に制御されるセラミック盤 52 内に埋め込まれた電極との間に空隙が形成される。電極とウエハとの間の空隙を正確に調節することによって、均一な静電力が生み出される。更に、円形パターンによって円形のドットパターンによって WCD へのウエハの固定がなされ、取り付けられたウエハの機械的な変形が防止される。

【0060】円形部分がまた、ガスが導入されるウエハ 62 とセラミック盤 52 との間に均一な空隙を形成する。図 11b に示されているように、この空隙の幅は、円形部分 72 の高さ H_d によって確定されている。注目されている圧力の範囲内 (0 から 20 トル) では、円形部分の高さ H_d を $40\mu\text{m}$ 未満に保つことが望ましく、好ましくは $20\sim 35\mu\text{m}$ の範囲に保つことが熱伝達特性の低下を防止するためには望ましい。円形部分の高さ H_d の公差は、設定された値の $\pm 10\%$ 内とされるべきである。熱伝達特性の低下が、図 9 に例示されているが、ここでは圧力 10 トル (13 ミリバール) で、円形部分の高さ D が 20、50、 $100\mu\text{m}$ の WCD に対して、各々、約 1700、1300、900 W/M²-K の熱伝達係数となる。

【0061】図 13 は、円形部分の高さ H_d が $20\mu\text{m}$ の本発明の実施例の中心に於て測定された、ガス圧力に対する全体の熱伝達係数 (ガス熱伝導及び接触熱伝導) を表すグラフである。曲線 E、F では、水素及びヘリウムがガスとして各々用いられている。図 13 は、熱伝達係数が、従ってウエハの温度が、裏側ガス圧力を制御することによって迅速に調節されることを表している。

【0062】図 13 に示された全体の熱伝達係数は、図 9 に於て予測された熱伝達係数よりも低いことが注目される。その主な原因は、分子がその接触する表面、即ちウエハ 62 及びセラミック盤 52 の接触面との間で熱的な平衡状態に達することのできない程度を表すアコモデーション係数 (accommodation) と知られている要因に起因するものである。このアコモデーション係数はまた、図 9 に表されたより直線的な応答と比較して図 13 に示された非直線的な応答の原因でもある。

【0063】ウエハの温度の変化は処理過程に悪影響を及ぼすので、ウエハ表面の温度を均一に保つことが望まれる。このウエハの温度は空隙 62 内の裏側ガス圧力によって制御される。即ち、均一なウエハの温度を達成するためには、裏側ガス圧力を均一に保たなければならない。さもなければ、裏側ガス圧力の低い部分に於てウエハ温度が高くなり、裏側ガス圧力が高い部分に於てウエハの温度が低くなる。

【0064】図 14 は、裏側ガス圧力の変化がウエハの温度に及ぼす影響を表すグラフである。図 14 に示されているように、5 種類の異なる裏側ガス圧力に対する測定された温度変化は、ウエハの中心から周縁部に向けて温度が降下するものである。図 14 は、2000 W の熱が直径 200 mm のウエハに伝達されたものと仮定されている。裏側のガス (この場合ヘリウムガス) が、中心に配置されたガス供給路を通して圧力 10 トルで供給されている。セラミック盤 52 は 60℃ に保たれている。曲線 E のように、ウエハの中心部分から周縁部分に向かった裏側ガス圧力の低下が 1% の場合には、概ね均一なウエハの温度が達成される (中心部分では 10、0 トル、周縁部分では 9、9 トル)。しかし、裏側ガス圧力の降下が 90% (中心部分では 10、0 トル、周縁部分では 1、0 トル) のとき、曲線 H に示されているように、周縁部分の温度は 700℃ 以上となる。許容されるウエハの温度分布は、(ウエハ全体での表面の最高温度が 400℃ 以下)、曲線 I によって示されているように、裏側ガス圧力の降下が 10% 未満 (中心部分で 10、0 トル、周縁部分で 9、0 トル) の場合に達成されている。即ち、裏側ガス圧力の変化が 10% 以上となることを回避することが望まれる。

【0065】ほぼ均一な裏側ガス圧力を用いることのもう 1 つの利点は、ウエハの全体的な温度を低くできることである。この理由は、裏側ガス圧力の変化が少なくなると、ウエハの背面の平均圧力が上昇し、平均熱伝達係数が増加するからである。即ち、ウエハの中心部分をも含め、ウエハ全体での温度が低下する。例えば、ウエハの中心部分に於ける裏側ガス圧力が入力ガスの圧力 10 トルに等しい場合でも、曲線 E でのウエハの中心の温度 (1% の変化) は、曲線 H の中心部分に於けるウエハの中心部分での温度 (90% の変化) よりも低い。

【0066】曲線 G によって表されているように、裏側

ガス圧力が1%のみ変化する場合でも、ウェハの周縁部分はウェハの中心部分よりもわずかに高い温度となっている。この理由は、ウェハをWCDに置く場合の誤差を許容するために、ウェハはWCDの周縁部分よりもわずかに外側に、およそ1mm外側にはみ出して配置されているので、このはみ出して配置されたウェハの部分がウェハ自体を通る熱の伝達以外によっては、ほとんど若しくは全く冷却されないためである。

【0067】ガスを収容するために、セラミック盤52（図10a、図11a、及び図11bを参照のこと）の周縁部分に連続した環状リング78が設けられており、ウェハ62とセラミック盤52との間のシールを形成する。図11bには、環状リング78の突出した表面部分78'と円形部分72の突出した表面部分72'とが概ね同一平面上にあるように描かれており、表面72'及び78'と概ね平行な下層平坦面からの平均偏差は0.1mm以下となっている。理想的には、完璧なシールと、ガスの移動のないこととによって、ウェハの背面での圧力の変化は起こらないことになる。しかし、実際には環状リング78を通るガスのわずかな漏洩が生ずることがある。

【0068】上述されたようにWCD及び環状リング78は、ウェハを配置するときの誤差を許容するためにウェハよりもわずかに小さい直径を有するものとされている。環状リング78のある部分がウェハの何れの部分とも接触しないほどにウェハが不正確に配置された場合、環状リング78とウェハとによって形成されるシールが破られる。シールが破られた場合、ガスの漏洩速度が急に増加する。

【0069】ウェハが不正確に配置されたことによってシールが破られなかった場合でも、依然としてシールから漏洩を生ずることがある。ウェハ62と環状リング78とによって形成されたシールに於けるある特定の漏洩速度Qに対して、圧力の分布は以下の式によって定義されるシールコンダクタンスCsによって決まる。

$$【0070】 Q = C_s \times \Delta P \quad (3)$$

ここで ΔP はシールの間の圧力降下を表している。

【0071】シールコンダクタンス(Cs)はさまざまな要因によって変化する。1つの要因として、シールを形成する接触面の粗さ、即ち環状リング78の表面の粗さと、環状リング78と接触するウェハ62の表面の粗さとがある。他の要因として、シールを形成する表面上の硬質の粒子の存在がある。シールを形成する接触面の間のクランプ力もまたシールコンダクタンスに影響を与える。これらの要因を予測することは困難なので、シールコンダクタンスもまた予測することが困難である。しかしながら、環状リング78の幅（図11a及び図11bのWsとして表されている）を増加することによって、シールコンダクタンスに対するある程度の制御が達成され、幅を広くすることによってシールコンダクタン

スが小さくなり、従って漏洩速度がより低くなる。

【0072】任意のシールコンダクタンスに対する最大のシール漏洩速度は、シールの間で生ずる圧力降下が式3に基づく可能な最大の圧力降下と等しくなった場合に起きる。可能な最大の圧力降下は、裏側のガス入力圧力（この圧力は裏側のガス入力圧力を越えるものではない）と、計算の都合上0トルとみなされる真空チャンバ内の5ミリトルの動作圧力との差である。裏側ガス圧力の変化を制限するために、セラミック盤52の表面の（82）のパターンは、最大のシール漏洩速度を越える流速を許容するものでなければならない。これは、内側面のコンダクタンス（ウェハとセラミック盤52とによって形成された空隙内におけるセラミック盤52の中心から環状リング78へのガス流れコンダクタンス）が、シールコンダクタンスより大きな値のとき起こる。

【0073】内側面のコンダクタンスは、円形部分の高さHDによって変化するが、その理由はこれら円形部分がガスの流れる空間を確定するからである。より長い高さの円形部分を有するWCDにおいては、内側表面のコンダクタンスが高められる。しかしながら、上述されたように、熱伝達特性の劣化を防止するためにはこの円形部分の高さHDを40 μ m以下に保つことが望ましい。

【0074】内側面のコンダクタンスを増加させるために、ガス分配溝（図10a、図10b、図11a、図11bの符号74、及び74'として表されている）が用いられている。図10bに示されているように、18本のガス分配溝74が、WCDの中心部分の六角形の溝から半径方向外側に向かって延在するように設けられている。セラミック盤52の中心部分において十分な個数の円形部分72を確保するために、中心ガス入りロポートからガスを分配するために六角形のパターンの内側では6本のガス分配溝のみが設けられている。ガス分配溝は、環状リング78にガスを供給し、環状リング78とウェハとによって形成されたシールからの漏洩したガスの代わりとし、また真空チャンバ内にガスを供給する。図11bと参照すると、ガス分配溝74、74'は4角形の断面を有し、深さDC及び幅WCを有する。ある実施例では、ガス分配溝74、74'の幅WCは、約1500 μ mであり、深さDCは約700 μ mである。選択された値の10%の誤差を見込んだ場合、ガス分配溝74、74'の幅WCは、約0.5から2.5mmの範囲内にあることが望ましく、深さDCは、約0.2から2.0mmの範囲内にあることが望ましい。

【0075】ガス分配溝74、74'の深さDCは様々な要因に基づく設計事項である。第1に、深さDCが増加されると、電極とウェハとの間の間隔がそれに応じて増加し、静電力の応答時間、即ちウェハの固定/解放時間が増加する。更に、電極とウェハとの間隔が増加されると、ウェハに対するRFの結合効率が低減される。更に、ガス分配溝内のガスの誘電定数の値と、セラミック

盤52を構成している材料の誘電定数との差によって、電極からウェハまでに形成された電界の不規則性が生ずる。更に、深さDCが増加すると、電極とウェハとの間の電圧ブレイクダウンの確率が上昇し、セラミック盤52の強さが低下する。即ち、当業者にはよく知られているように、ガス分配溝の最大の深さは、上述された要因に基づく設計事項である。

【0076】図15a、図16a、図17a、図18及び、図19aには、様々な形状のガス分配溝を備えた本発明の他の実施例が例示されている。図15aは、WCDの中心から放射状に外向きに延在する6本のガス分配溝を有するWCDが例示されている。図16aは、環状リング78に隣接して配置された1つの円形のガス分配溝を備えたWCDが例示されている。図17aは、中心の円形のガス分配溝から半径方向外向きに延在する12本のガス分配溝を備えたWCDが描かれている。図18には、格子状に配置されたガス分配溝を備えたWCDが描かれている。図15b、図16b、及び図17bは、更に、各々、図15a、図16a、図17aに例示された実施例のガス分配溝を表している。

【0077】図19aは、及び図19bは、6個の裏側のガス入口ポート82（例えば直径3.0mm以下の）と、中心のガス入口ポート84と、三角形のパターンに配列されたガス分配溝とを有する他の実施例が表されている。このガス分配溝は、金属製支持盤56内に形成されており、6個の裏側のガス入口ポート82にガスを供給している。複数のガス入口ポートを用いることによって、裏側ガス圧力の変化が減少される。しかし、ガス入口ポート82によって接地電位との間のインピーダンス*

*の低い経路が形成されやすく、アーク放電の生ずる可能性も高まり、WCD装置の故障の原因となる。

【0078】これらの全ての実施例において、図示された中心のガス入口ポートは通常直径4.7mmであり、ガス入口管（図4の110）からガスを供給されている。図10a、図15a、図16a、図17a、図18、及び図19aでは、セラミック盤52内に封入された二極静電チャック機構を形成する互いに噛合する形状の電極95と95'の外形が破線によって描かれている。電極95と95'の厚みはRF電力を結合させ、かつRF電流に対するインピーダンスの低い経路を提供するように十分な厚みでなければならない。約15から45 μ mの範囲内の、例えば30 μ mの厚さを有する電極が適切である。上述された全ての実施例では、環状のガス分配チャネル74'が例示されている。この環状のガス分配溝は、環状リング78とウェハとによって形成されたシールに沿ってガスを分配し、従って、任意の局所的なシールからのガスのリンクによって引き起こされる圧力のばらつきを低減させる。様々な直径の、例えば150、200、及び300mmの直径を有するウェハが上述された全ての実施例において用いられる。特に、図15aと図10aに例示された実施例は、各々、150mmと200mmの直径のウェハに適している。

【0079】予測されるWCDの特性が、図10a、図15a、図17a、及び図18、及び図19に例示された実施例に対して、以下の表2に表されている。

【0080】

【表2】

実施例	図	シール幅 mm	溝の深さ μ m	周縁部の 圧力 トル	シール漏洩速度 SCCM	内側面 漏洩速度 SCCM
1	19a	2	700	9.7	14.8	50.00
2	15a	4	200	1.8	2.7	0.33
3	15a	2	300	3.1	4.6	0.66
4	15a	2	700	8.6	12.8	8.60
5	15a	2	2000	9.7	14.6	50.00
6	17a	2	200	1.8	2.7	0.33
7	17a	4	200	3.1	2.3	0.33
8	10a	4	200	4.0	3.0	0.50
9	10a	4	300	7.3	5.5	2.00
10	10a	2	700	9.5	14.2	26.00
11	10a	4	700	9.7	7.3	26.00
12	18	2	300	4.3	6.5	1.10
13	18	4	300	6.0	4.5	1.10
14	18	2	700	9.1	13.5	14.50

【0081】表2に表された全ての実施例では、溝の幅は1500 μ mである。ウェハの周縁部圧力は、環状リング78の内側の周縁部における裏側ガス圧力を表して

いる。シール漏洩速度は、表2に表された対応するウェハの周縁部圧力に対するウェハと環状リング78とによって形成されたシールでの予想される漏洩速度である。

内側面流速は、裏側ガス圧力がウェハの中心部において10.0トル、ウェハの周縁部において9.0トル（裏側ガス圧力の変化が10%）の場合に、セラミック盤の表面82を通る予測される流速である。

【0082】表2に表されているように、実施例1（図19a）では、圧力は内側面においてウェハの中心部における内側圧力10トルからウェハの周縁部における圧力9.7トルまで0.3トル変化する。即ち、実施例1では、裏側ガス圧力の変化は3%である。同様に、実施例5、10、11、及び14では、裏側ガス圧力の変化は、各々3%、5%、3%、及び9%である。実施例1では、セラミック盤の表面82における内側面の流速は、50.00SCCM（ウェハの中心と周縁部との間の圧力降下が1トルの場合に対して）であり、この値は予測されるシール漏洩速度14.6SCCMを大きく上回るものである。これによって、例えばウェハが整合せずに配置されたことによって、若しくは粒子の存在によって発生するより高いシール漏洩速度を許容する大きな*

*公差が提供される。同様に、実施例5では、5、10、及び11では、セラミック盤の表面52における内側面の流速50.00、26.00、及び26.00SCCMは、各々、予測される最大のシール漏洩速度14.6、14.2、及び7.3SCCMを上回り、従ってより高いシール漏洩速度を許容する顕著な公差が提供される。

【0083】実施例1、2、5、9、及び10（表2）に対する予測される熱伝達係数が以下の表3に表されている。与えられた熱伝達係数は、ガス熱伝導に対するもののみである。これら全ての実施例において、接触熱伝導に対する熱伝達係数は、より粗面化されたウェハ表面の粗さに応じて約5から30W/N²-Kの範囲内で変化し、より粗面化されたウェハ表面によって、より低い熱伝達係数がもたらされる。

【0084】

【表3】

実施例	変化量	中心部の熱伝達係数 [W/M ² -K]	周縁部の熱伝達係数 [W/M ² -K]
1	3%	297	255
2	82%	223	89
5	3%	297	255
9	27%	279	204
10	5%	295	243

【0085】表3は、裏側ガス圧力の変化が少ない実施例が、ウェハの中心部とウェハの周縁部との間の熱伝達係数の変化が少ないことを表している。例えば、実施例1では、裏側ガス圧力の変化は3%であり、ウェハの中心部及びウェハの周縁部での熱伝達係数は、各々、295W/N²-Kと255W/N²-Kであり、この値は42W/N²-Kの変化をもたらす。しかしながら、実施例2では、裏側ガス圧力の変化は82%というより高い値であり、ウェハの中心部とウェハの周縁部における熱伝達係数は、各々、22.3W/N²-Kと89W/N²-Kとであり、変化は134W/N²-Kである。熱伝達係数の変化が少ないほど、図20に例示されているように、ウェハの温度分布が改善される。

【0086】図20では、実施例1と実施例9のウェハの温度分布が、各々、曲線JとKとによって表されており、ここで粗いウェハの表面（接触熱伝導の熱伝達係数が約5W/N²-Kに等しい）が仮定されている。滑らかなウェハの表面と、粗いウェハの表面とを備えた実施例2のウェハの温度分布が、各々、曲線LとNによって表されている。接触熱伝導の熱伝達係数は曲線LとNとに対して、各々、500W/N²-Kと30W/N²-Kとなっている。図20では、2000ワットの熱量が直径200mmのウェハに供給されているという仮定がされている。裏側ガス、即ちヘリウムが、圧力10トルで

中心に位置されたガス供給管から供給されている。セラミック盤52は60℃に保たれている。

【0087】曲線Mによって表されているように、粗い表面を備えたウェハを用いた実施例2において、ウェハの周縁部分の温度が700℃以上となっている。しかし、曲線Lによって表されているように、ウェハの表面が研磨されている場合、実質的に均一なウェハの温度分布が主要な接触熱伝導によって達成されている。しかし、接触熱伝導が熱伝達機構の主な役割を果たすので、裏側ガス圧力によってウェハの温度を制御する可能性が制限されている。

【0088】曲線Jによって表されているように、最大のウェハの温度が350℃以下であるほぼ均一なウェハの温度分布が実施例1において達成されている。重要なことは、実施例1ではガス熱伝導が主要な役割を果たすので、ウェハの温度は裏側ガス圧力を調節することによって十分に制御されるということである。

【0089】曲線Kでは、実施例9のウェハの温度分布が表されている。曲線Kはウェハの温度に対する調節された圧力の変化の効果が表されている。図示されているように、圧力の変化が27%の場合でさえも、ウェハの周縁部分の温度は350℃以上となる。

【0090】図21は、本発明に基づくWCDの中心部分での裏側ガス圧力に対する温度を表している。図21

は、2000ワットの熱量が直径200mmのウェハに供給されているという仮定がなされている。裏側ガス圧力が8トルの場合、ウェハの温度は約225℃に保たれている。しかし、裏側ガス圧力を5トルに減少させることによって、ウェハの温度は約257℃に調節される。図示されているように、ウェハの温度は更に裏側ガス圧力を減少させることによって更に増加される。即ち、図21は、ウェハの温度が裏側ガス圧力を調節することによって充分に制御されることを表している。

【0091】図22a及び図22b（以下、両方の図をまとめて図22と呼ぶ）に例示されているように、各々、本発明に基づく他の実施例の分解上面図と断面図とが表されている。この実施例では、セラミック盤110は、例えば、インジウム製のはんだを用いて、金属製冷却盤112にろう付け若しくは半田付けされている。ろう付け若しくは半田付けに用いられる材料は、セラミック盤110と金属製冷却盤112との異なる熱膨張を許容するための十分な柔軟性を有するものでなければならない。セラミック盤110と金属製冷却盤112は、各々、図2に例示されたセラミック盤50と、金属製冷却盤60とに実質的に等しい。金属製冷却盤112は、金属製支持盤114内に形成されたキャビティ内にボルトによって固定されている。

【0092】図22に例示された実施例は、熱伝導性ペーストの第1の層と第2の層（各々、図2の54と58）が用いられていない。これは、真空処理過程の汚染に関連して熱伝導性ペーストの漏洩がリング55（図2）を通過する可能性が除去されるので有利な点であるといえる。もう1つの利点は、ウェハに加えられた熱が、セラミック盤110を通りろう付け層若しくは半田付け層を通り、次に直接金属製冷却盤112に伝達されるということである。これによって、WCDの熱伝達能力が向上する、その理由は熱が金属製支持盤114を介して伝達されないからである。セラミック盤52（または110）の接触面82の構造の特徴は、図2及び図22に例示された実施例に関する特徴と等しい。

【0093】これまでの説明は、本発明の主要なかつ好適な実施例に関してなされていた。しかし、本発明はある一定の上述された実施例に限定される構造を有するものではない。例えば、様々な熱伝導性を有するセラミック盤を用いることができる。WCDは、三角形若しくは四角形などの様々な形状であってよい。また、支持盤のためにはアルミニウム以外の、冷却盤のためには真鍮以外の、その他の金属または材料が用いられてもよい。更に、ウェハの中心における裏側ガス圧力は、より高い入力電力が用いられる場合には10トル以上に増加されてもよい。更に、薄膜ヘド若しくはフラットパネルディスプレイの製造業者によって用いられているような、シリコン、ガリウム砒素、若しくはセラミックウェハ、または基板が、本発明の基板として用いられてもよい。更

に、本発明のWCDは、化学蒸着法（CVD）、プラズマ化学蒸着法（PECVD）、プラズマエッチング法、スパッタエッチング法、及び物理蒸着法（PVD）等の様々なプラズマ処理法に用いられてもよい。即ち、上述された実施例は、限定を意図するものではなく1つの例として考慮されるべきものである。添付の特許請求の範囲によって定義される本発明の技術的観点から逸脱せずに、これらの実施例に様々な変形がなされることは当業者には容易に理解される。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来技術の静電チャックを表す図。

【図2】本発明に基づくウェハ冷却装置（WCD）の分解斜視図。

【図3】本発明に基づく金属製の冷却盤の斜視図。

【図4】本発明に基づくWCDが据え付けられたユニットの断面図。

【図5】本発明に基づくWCDの側断面図。

【図6】図5に例示されたウェハとWCDの境界面の拡大断面図。

【図7】ウェハとWCDとの表面の間に接触する部分のない仮想的なウェハとWCDとの組立体を表す図。

【図8】ウェハからWCDまでの熱伝達経路に沿った温度分布を表すグラフ。

【図9】ガスの圧力と接触面の間隔とに関連する熱伝達係数の変化を表すグラフ。

【図10】a及びbからなり、aは本発明に基づくWCDのセラミック盤の接触面の上面図であり、bはaに示されたWCDのガス分配溝を表す図。

【図11】a及びbからなり、aは図10aに例示されたセラミック盤の一部分の拡大上面図であり、bは図10aに示されたセラミック盤の一部分の拡大断面図。

【図12】本発明に基づく様々なWCDの熱伝達係数とウェハ表面の粗さとの関係を表すグラフ。

【図13】本発明に基づくWCDの中心で測定されたガス圧と全体的な熱伝達係数との関係を表すグラフ。

【図14】本発明に基づくWCDの圧力の不均一性のウェハ温度への影響を表すグラフ。

【図15】a及びbからなり、aは本発明に基づくある実施例のガス分配溝を備えたWCDの上面図であり、bはaに例示された実施例のガス分配溝を表す図。

【図16】a及びbからなり、aは本発明に基づくある実施例のガス分配溝を備えたWCDの上面図であり、bはaに例示された実施例のガス分配溝を表す図。

【図17】a及びbからなり、aは本発明に基づくある実施例のガス分配溝を備えたWCDの上面図であり、bはaに例示された実施例のガス分配溝を表す図。

【図18】本発明に基づくある実施例のガス分配溝上面図。

【図19】a及びbからなり、aは本発明に基づくある実施例のガス分配溝を備えたWCDの上面図であり、b

はaに例示された実施例のガス分配溝を表す図。

【図20】本発明に基づくある実施例の数種類のWCDのウェハの温度分布を表すグラフ。

【図21】本発明に基づくWCDの中心の裏側面のガス圧力と温度との関係を表すグラフ。

【図22】a及びbからなり、aはセラミック板が金属製の冷却板に直接ろう付け若しくは溶接された本発明に基づく他の実施例の分解斜視図であり、bはaに例示された実施例の断面図。

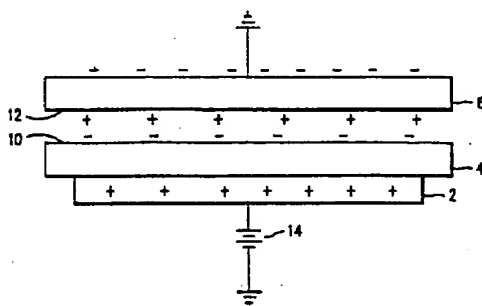
【図23】本発明に基づくWCDの裏側面のガス圧を制御するための手段を表すブロック図。

【符号の説明】

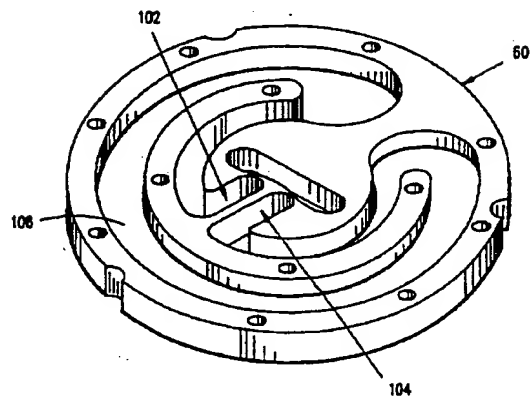
- 2 電極
- 4 絶縁層
- 6 基板
- 10 負電荷
- 12 正電荷
- 20 ワッシャ
- 22 スプリングワッシャ
- 24 ボルト
- 26 ボルト
- 28 接続ピン
- 30 接続ピン
- 48 WCD
- 50 ウェハとWCDの境界面
- 52 セラミック盤
- 53 凹部

- 54 第1の熱伝導性ペースト層
- 55 Oリング
- 56 金属製支持盤
- 57 Oリング
- 58 第2の熱伝導性ペースト層
- 59 Oリング
- 60 金属製冷却盤
- 62 ウェハ
- 72 円形部分
- 72' 円形部分の表面
- 74 ガス分配溝
- 74' ガス分配溝
- 78 環状リング
- 78' 環状リングの表面
- 80 ウェハの接触面
- 82 セラミック盤の接触面
- 84 ガス入口ポート
- 95 電極
- 95' 電極
- 20 100 WCDが取り付けられたユニット
- 102 溝入口
- 104 溝出口
- 106 冷却水溝
- 110 セラミック盤
- 110A ガス入口管
- 112 金属製冷却盤
- 114 金属製支持盤

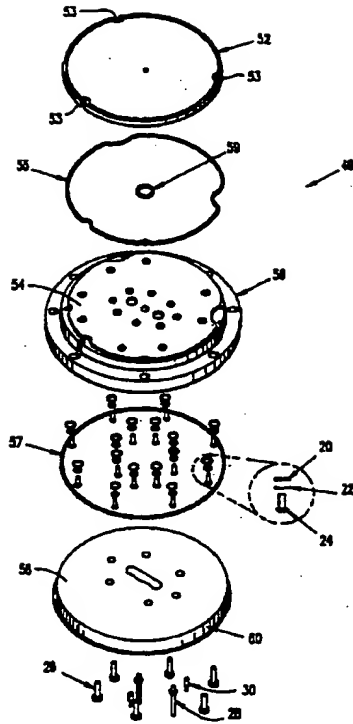
【図1】



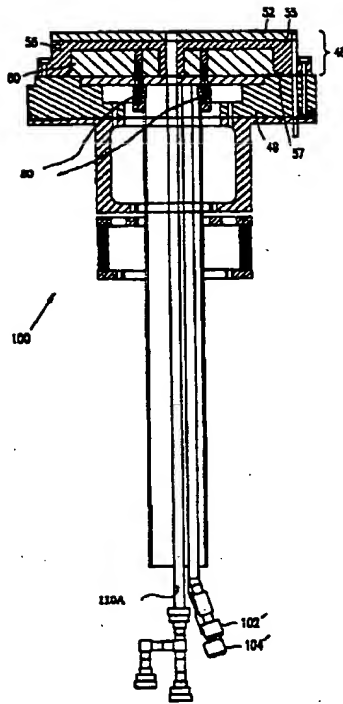
【図3】



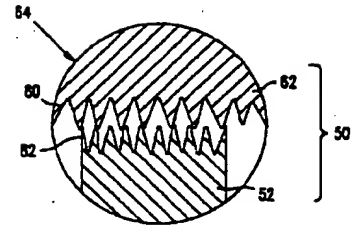
【図2】



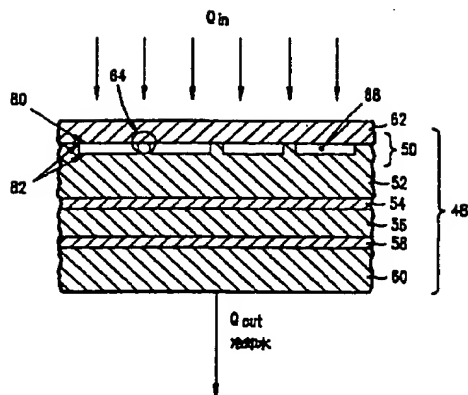
【図4】



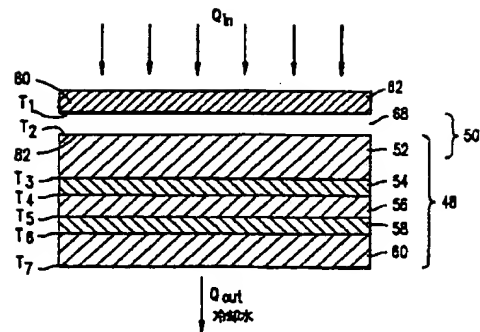
【図6】



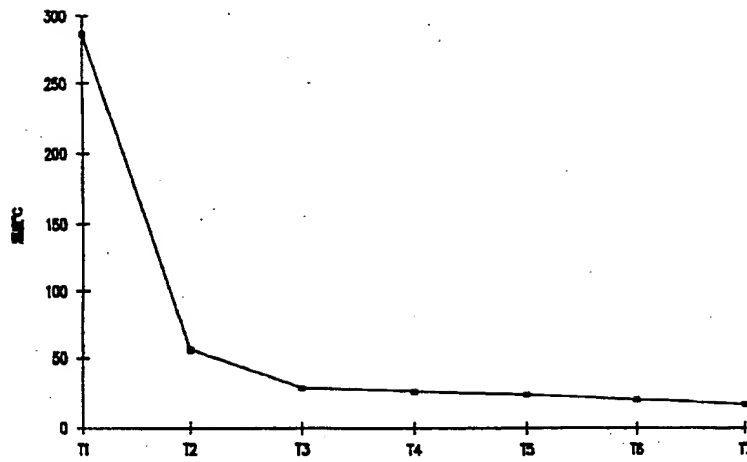
【図5】



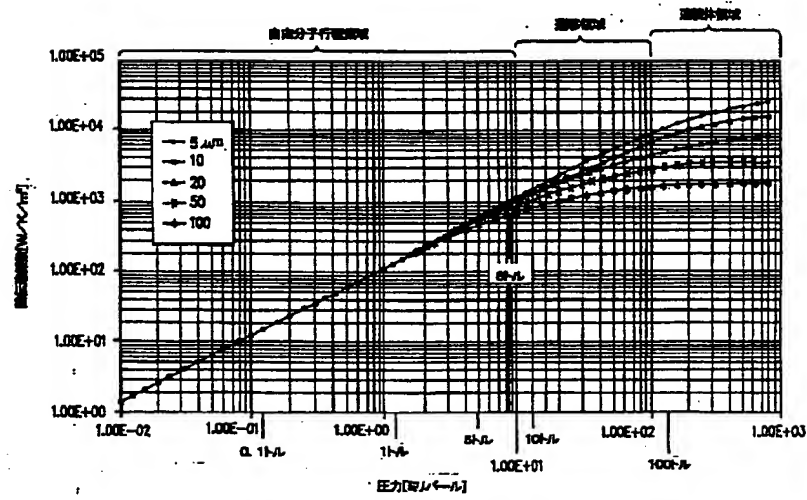
【図7】



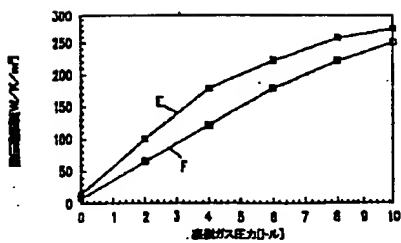
【図8】



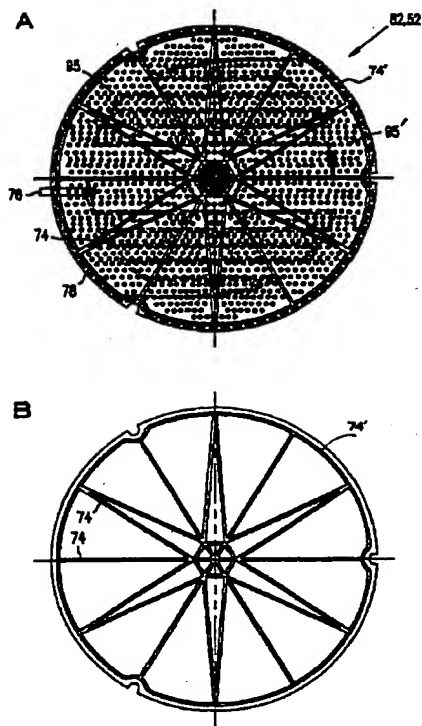
【図9】



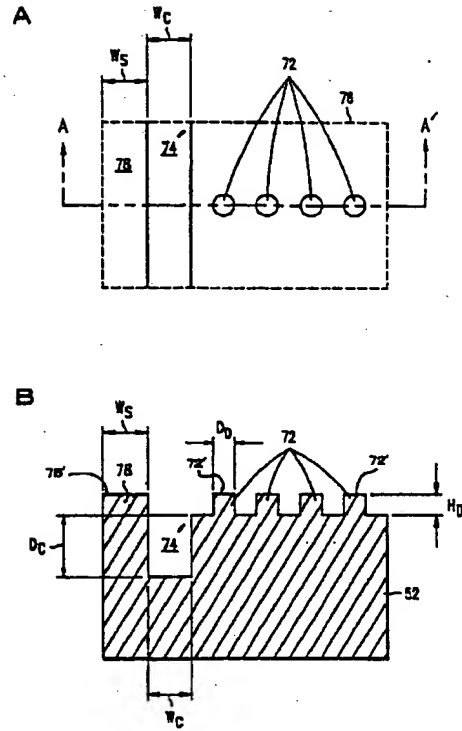
【図13】



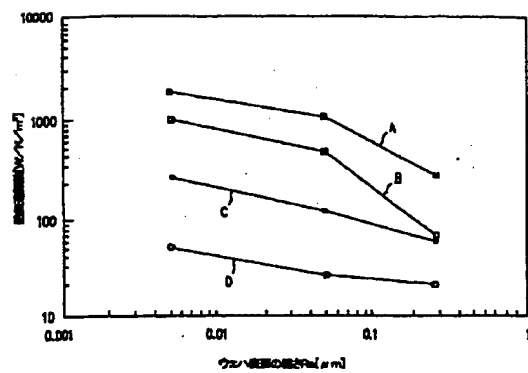
【図10】



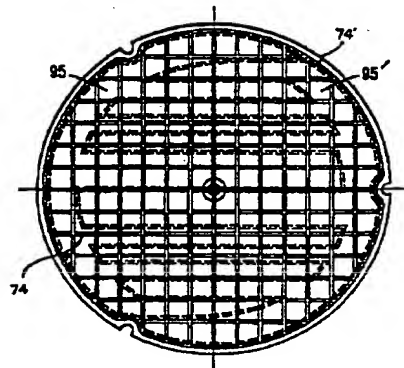
【図11】



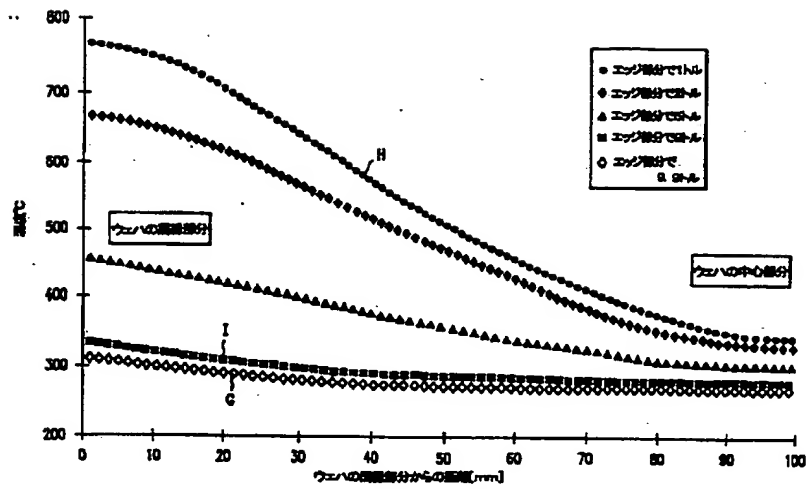
【図12】



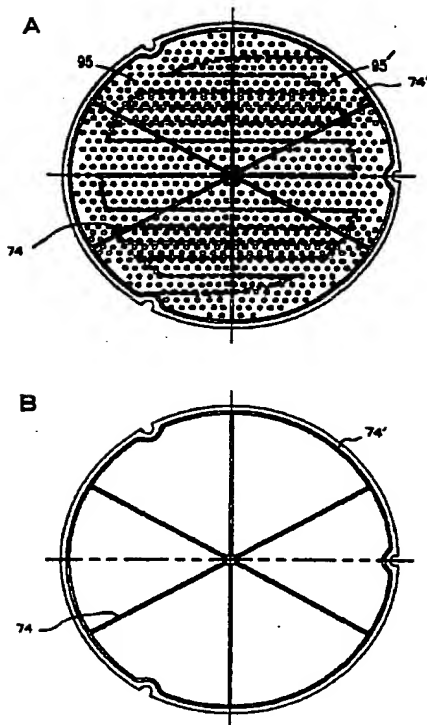
【図18】



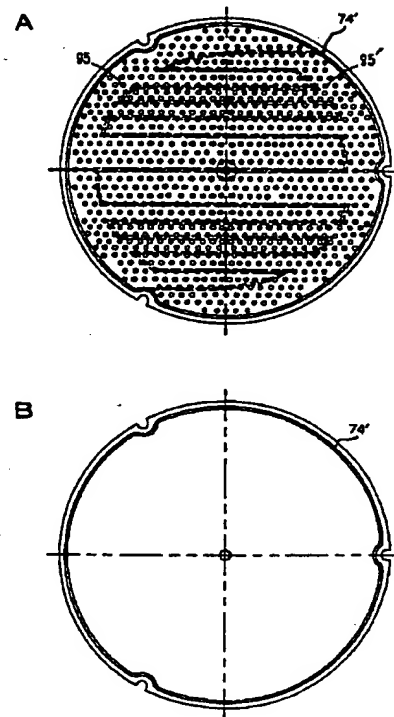
【図14】



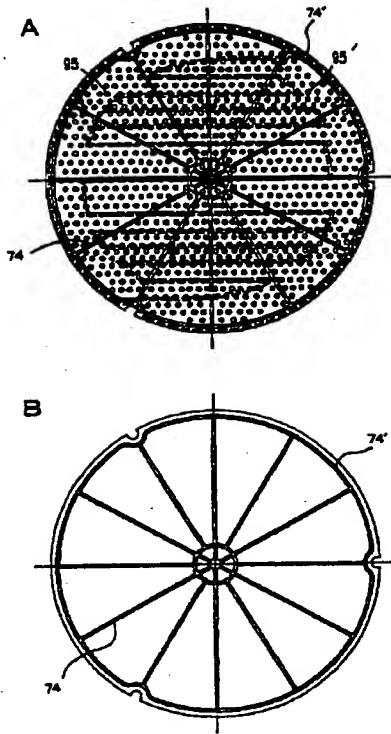
【図15】



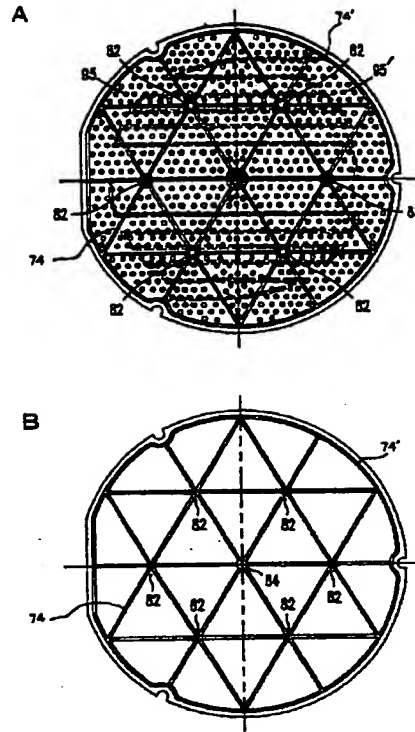
【図16】



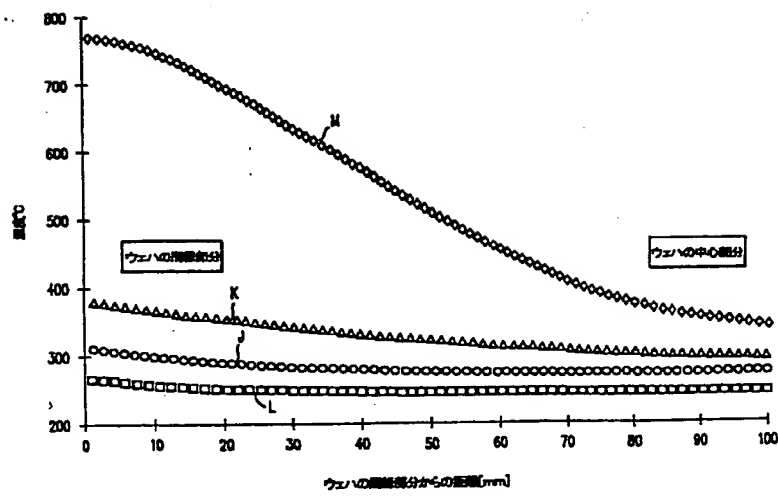
【図17】



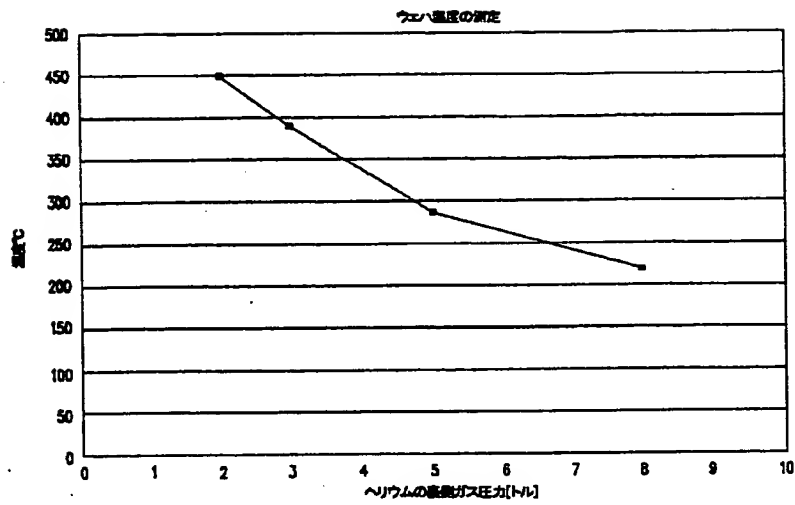
【図19】



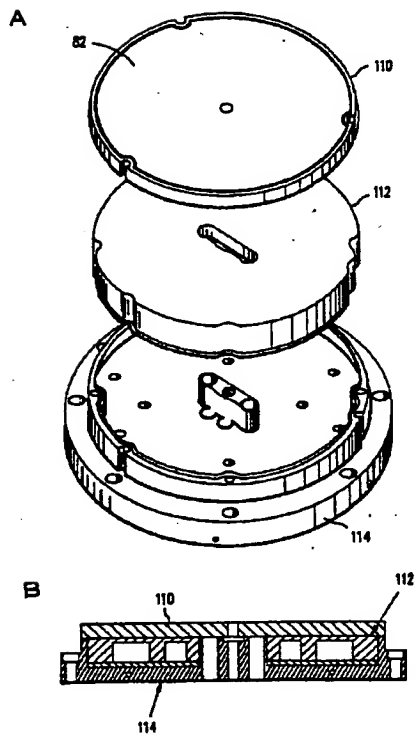
【図20】



【図21】



【図22】



【図23】

